

Научная статья
УДК 631.152:519.83

Применение математической теории игр для принятия решений в условиях риска на примере сельского хозяйства горных и предгорных районов Республики Северная Осетия – Алания

Алан Юрьевич Цогоев¹, Аида Руслановна Цогоева², Мадина Черменовна Датиева³,
Мария Владимировна Волик⁴

^{1,2,3} Горский государственный аграрный университет, Владикавказ, Россия

^{2,4} Владикавказский филиал Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, Владикавказ, Россия

¹ tsalan@yandex.ru

² aida_d@rambler.ru

³ datieva_m@mail.ru

⁴ volikmv@mail.ru

Аннотация. В современных экономических условиях для анализа и прогнозирования разных видов деятельности используются современные технологии на базе применения инструментов математического аппарата. В статье представлено исследование возможностей использования теории игр для принятия решений в условиях риска. Цель исследования заключается в разработке методологии выбора оптимальной стратегии при принятии решения на предприятиях сельскохозяйственной отрасли на основе математического моделирования и проведения вычислительного эксперимента. В работе проведен вычислительный эксперимент для прогнозирования трех вариантов стратегий на примере сельскохозяйственного предприятия. Согласно трем критериям выбора (Байеса, Лапласа, Гермейера), для получения максимального дохода игроку рекомендовано выбрать стратегию А₁ (провести комплексную обработку растений для предотвращения повреждения сорняками, вредителями и болезнями). В работе исследовались такие исходные данные, которые привели к выбору одной и той же стратегии. Однако другими сельскохозяйственными предприятиями могут быть использованы собственные исходные данные и систематизированные универсальные критерии, формулы, таблицы для проведения собственных вычислительных экспериментов и выбора стратегии. Таким образом, для выбора успешной стратегии поведения с позиции экономической эффективности использование математических методов является целесообразным. Рассматриваемые в исследовании методы оценки позволяют упорядочить представления о возможных угрозах для принятия решения в условиях риска. Полученные результаты позволят сформировать предварительный алгоритм принятия решения с наилучшим стратегическим потенциалом.

Ключевые слова: экономика, сельское хозяйство, управление предприятием, теория игр, математическое моделирование, вычислительный эксперимент, прогнозирование, принятие решений, риск

Основные положения:

- ♦ в современных экономических условиях для управления деятельностью организации (предприятия) целесообразно использовать цифровые технологии, особенно на базе математических моделей;
- ♦ проведение вычислительных экспериментов с использованием актуальных математических моделей позволяет получить достаточно достоверные результаты для принятия управленческих решений;
- ♦ важное значение для принятия эффективных управленческих решений имеет качество исходных данных, используемых при проведении вычислительных экспериментов и формировании рекомендаций.

Для цитирования: Применение математической теории игр для принятия решений в условиях риска на примере сельского хозяйства горных и предгорных районов Республики Северная Осетия – Алания / А.Ю. Цогоев, А.Р. Цогоева, М.Ч. Датиева, М.В. Волик // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2024. № 4 (234). С. 62–73.

Original article

Application of mathematical game theory for decision making under conditions of risk on the example of agriculture in mountain and foothill regions of the Republic of North Ossetia – Alania

Alan Yu. Tsogoev¹, Aida R. Tsogoeva², Madina Ch. Datieva³, Mariya V. Volik⁴

^{1,2,3} Gorsky State Agrarian University, Vladikavkaz, Russia

^{2,4} Vladikavkaz Branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation, Vladikavkaz, Russia

¹ tsalan@yandex.ru

² aida_d@rambler.ru

³ datieva_m@mail.ru

⁴ volikmv@mail.ru

Abstract. In modern economic conditions, modern technologies based on the use of mathematical tools are used to analyze and forecast various types of activities. This article investigates possibilities of using game theory for decision making under risk conditions. The purpose of the work is to develop a methodology for choosing the optimal strategy when making decisions at agricultural enterprises based on mathematical modeling and conducting a computational experiment. The work carried out a computational experiment to predict three variants of strategies using the example of an agricultural enterprise. According to three selection criteria (Bayesian, Laplace, Germeier), in order to obtain maximum income, the player is recommended to choose strategy A1 (carry out complex treatment of plants to prevent damage by weeds, pests and diseases). The work examined the initial data that led to the choice of one strategy. However, other agricultural enterprises can use their own initial data and systematized universal criteria, formulas, tables to conduct their own computational experiments and choose a strategy. Thus, to select a successful behavioral strategy from the standpoint of economic efficiency, the use of mathematical methods is appropriate. The assessment methods considered in the study make it possible to streamline ideas about possible threats for decision-making under risk conditions. The results obtained will allow us to formulate a preliminary decision-making algorithm with the best strategic potential.

Keywords: economics, agriculture, enterprise management, game theory, mathematical modeling, computational experiment, forecasting, decision making, risk

Highlights:

- ◆ in modern economic conditions, to manage the activities of an organization (enterprise), it is advisable to use digital technologies, especially based on mathematical models;
- ◆ carrying out computational experiments using current mathematical models allows one to obtain sufficiently reliable results for making management decisions;
- ◆ the quality of the initial data used when conducting computational experiments and forming recommendations is important for making effective management decisions.

For citation: Application of mathematical game theory for decision making under conditions of risk on the example of agriculture in mountain and foothill regions of the Republic of North Ossetia – Alania / A.Yu. Tsogoev, A.R. Tsogoeva, M.Ch. Datieva, M.V. Volik // Vestnik of Samara State University of Economics. 2024. No. 4 (234). Pp. 62–73. (In Russ.).

Введение

В современных экономических условиях хозяйствующие субъекты столкнулись с необходимостью информатизации и цифровизации своей деятельности. Автоматизация основных бизнес-процессов зависит от видов деятельности, масштабов, положения на рынке, наличия кадровых и цифровых экосистем и других внешних или внутренних факторов. Автоматизацию компании проводят в формате совершенствования или реинжиниринга. Цифровая трансформация сопровождается рядом триггеров и рисков. В данной связи предприятиям разных направлений деятельности рекомендуется использовать современные инструменты предварительного моделирования, прогнозирования и анализа автоматизируемых бизнес-процессов [1].

Одной из приоритетных отраслей экономики любой страны является сельское хозяйство. Эта отрасль остается одной из наиболее привлекательных для инвестирования, так как является важным производителем и поставщиком продуктов питания, продовольственного и промышленного сырья – продукции из категории жизненно необходимой в повседневной жизни и деятельности людей [2]. В отличие от других сфер деятельности человека, сельскохозяйственное производство существенно зависит от климатических и природных факторов. При равных показателях производительности (техническая оснащенность, квалификация труда и т.п.) разные страны не имеют одинаковых природно-климатических условий сельскохозяйственного производства, что обуславливает различные возможности обеспечения населения продовольствием [3]. Сельское хозяйство, по сравнению с другими отраслями народного хозяйства (например, промышленностью), объективно ограничено невыгодными условиями производства продукции в связи с тем, что значительно сложнее поддается эффективному контролю со стороны человека. Увеличение расходов, потерь и ущерба очень сильно зависит от природно-погодных факторов, особенно близких к катастрофам и чрезвычайным ситуациям. В связи с этим производителям сельскохозяйственной продукции необходимо проводить ряд мероприятий по предотвращению и снижению воз-

можных рисков, разрабатывать такие стратегии управления, которые позволят эффективно реагировать на разные изменения в производстве [1].

Методы

В условиях цифровизации экономики возросло значение прикладных методов и инновационных исследований с использованием информационных технологий. Одним из актуальных инструментов моделирования и прогнозирования поведенческих стратегий остаются методы принятия решений на основе математической теории игр [4; 5]. В данной работе рассматривается вопрос о выборе оптимальной стратегии поведения сельскохозяйственного товаропроизводителя в условиях рискованного земледелия на примере горных и предгорных территорий Республики Северная Осетия – Алания. Цель работы заключается в разработке математической модели и проведении вычислительного эксперимента по исследованию выбора оптимальной стратегии.

Исследование проводилось на базе сельскохозяйственного предприятия ООО «ФАТ-АГРО» (<https://www.fat-agro.ru/>), специализирующегося на производстве оригинального и элитного семенного картофеля и являющегося одним из передовых в регионе. Для исследования брали ранний сорт картофеля Леди Клэр. На специальном испытательном участке ежегодно проводятся агроэкологические испытания сортообразцов с оценкой их адаптивной способности к условиям Северо-Кавказского региона, зависимости показателей урожайности от сорняков, болезней и вредителей, питательной ценности и товарных качеств клубней. Исходные данные для проведения исследования были получены в частном порядке, поскольку на официальном сайте такая информация недоступна в связи со спецификой деятельности предприятия.

Теоретическая значимость работы обусловлена описанием, обобщением и систематизацией ряда критериев выбора стратегии управления на основе данных для сельскохозяйственного предприятия. Практическая значимость заключается в возможности использования результатов исследования в качестве

теоретической и практической базы для проведения серии вычислительных экспериментов; выбора и использования оптимальной стратегии; сбора, накопления и обработки результатов, полученных на основе примененных стратегий. Это позволит каждому сельскохозяйственному предприятию в дальнейшем создать собственную базу стратегий и полученных результатов с целью уточнения бизнес-стратегии предприятия. Научная новизна исследования заключается в комплексном теоретическом обобщении особенностей использования известных критериев для совершенствования выбора стратегии принятия решения исследуемого предприятия.

Игры с природой представляют собой классический пример математических моделей, для которых выбор решения зависит от объективной действительности, называемой природой, которая подчас протекает в условиях неопределенности и риска. Например, покупательский спрос, состояние погодных условий и т.д. «Природа» в этом случае представляет собой противника в обобщенном понятии, который в данном конфликте не преследует собственной цели. Она способна принимать одно из своих возможных состояний, но не стремится достичь цели путем получения выигрыша или причинения ущерба конкуренту. Роль выигрыша в теории игр отводится прибыли организации, ее доходу и т.д. [3].

В связи с тем, что случайностью является любое состояние природы и она не руководствуется принципами оптимальности, необходимо учесть все ее возможные состояния. «Поэтому в играх с природой возможность предпочесть одну стратегию другой возлагается только на лицо, принимающее решение (ЛПР). Таким образом, специфика игр с природой заключается в том, что осознанно действует только один из участников, которого условно называют «Игрок один». «Игрок два» (природа) не принимает осмысленные решения и поэтому его не интересует результат. Как правило, условия игры не зависят от действий Игрока два, а устанавливаются внешними факторами, которые не стремятся навредить одному из игроков (государственная политика, реакция рынка и т.д.)» [6]. Решение задачи данного вида основывается на определении соответ-

ствующей вероятности для различных состояний природы. Каждый игрок совершает возможные действия, называемые стратегией. «К решению игры приводит выбор стратегии каждым игроком. Выбранные стратегии должны удовлетворять условию оптимальности – один игрок получит максимальный выигрыш, а другой игрок продолжает придерживаться выбранной стратегии. В то же время другой игрок получает минимальный проигрыш при том, что первый игрок следует своей стратегии. Такие стратегии считаются оптимальными. Решить игру подразумевает определение цены игры и ее оптимального решения» [7].

Результаты

Для примера решения игры предположим, что предприятие (игрок А) на 150 га земли выращивает картофель. С оптовым покупателем был заключен договор на гарантированный выкуп всего произведенного картофеля по средней закупочной цене в регионе – 8 руб./кг. Начальный капитал для ведения бизнеса составляет 800 тыс. руб. Неблагоприятные (Π_1), обычные (Π_2) и благоприятные (Π_3) погодные условия оказывают влияние на наличие и развитие вредителей, сорняков и болезней, поражающих растения.

У предприятия есть три варианта для действий (стратегии):

- ♦ стратегия A_1 – провести комплексную обработку растений с целью предотвращения повреждения сорняками, вредителями и болезнями, потратив 800 тыс. руб.;

- ♦ стратегия A_2 – провести частичную обработку растений, потратив 400 тыс. руб.;

- ♦ стратегия A_3 – не обрабатывать растения, тогда сумма затрат составит 250 тыс. руб.

Многолетние наблюдения на испытательных участках показали, что на урожайность картофеля большое влияние оказывают погодные условия и методы борьбы с сорняками, болезнями и вредителями (табл. 1).

Вероятность наступления неблагоприятного, обычного и благоприятного состояния природы выбирается на основе статистических наблюдений: $q_1 = 0,2$; $q_2 = 0,5$ и $q_3 = 0,3$ соответственно. Требуется определить выгодную стратегию для производителя, используя критерий оптимальности в условиях риска.

Таблица 1

Средняя многолетняя урожайность картофеля, ц/га

Стратегии фермера	Развитие сорняков, болезней и вредителей		
	П ₁	П ₂	П ₃
A ₁	250	235	210
A ₂	250	220	115
A ₃	230	150	76

Необходимо учесть, что при поиске решения игрок А не обладает полноценной информацией о состоянии природной среды, но неопределенность не является абсолютной. Игрок А, безусловно, располагает некоторыми сведениями и делает эмпирические предположения. «Поэтому в теории игр задачу поиска решения называют "игрой с природой", где субъект управления – "игрок А", альтернативные решения – "стратегии", а функцию $F(x, y)$ – "функцией выигрыша субъекта"» [8].

Значения выигрыша представляют собой доход по направлению деятельности, которое реализуется через соответствующую стратегию. Принятие решения возможно на основе анализируемой информации, которая консолидируется в виде платежной матрицы и матрицы рисков [9].

Функцию выигрыша принято задавать в виде платежной матрицы, называемой также матрицей доходности [9]. Модель платежной матрицы в условиях риска имеет вид:

$$F(x, y) = \|a_{ij}\| = \begin{bmatrix} & \Pi_1 & \Pi_2 & \Pi_j & \Pi_n \\ A_1 & a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ A_2 & a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ A_i & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_m & a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где элемент матрицы a_{ij} – значение функции выигрыша F , ожидаемый выигрыш субъекта управления при реализации им варианта A_i ($i = \overline{1, m}$) и состояния природы Π_j ($j = \overline{1, n}$). Матрица выигрышей не всегда однозначно определяет выбор оптимальной стратегии. На выбор стратегии оказывает влияние еще и показатели «удачности» или «неудачности» выбора. Это условие называется «благоприятностью» природы (β_j). То есть выбирается элемент с наибольшим значением в j -м столбце матрицы игры:

$$\beta_j = \max_{1 \leq i \leq m} a_{ij}, i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Правильное построение платежной матрицы (матрицы игры с природой) является самой сложной задачей, так как способно оказывать существенное влияние на подготовку и принятие решения. Цена ошибок, допущенных при заполнении ячеек матрицы, высока, так как исправить неверный результат в дальнейшем будет затруднительно [10].

Далее платежную матрицу необходимо преобразовать в матрицу рисков. Значения рисков определяются из предположения, что игрок А владеет полной информацией и выбирает такую альтернативу, которая будет представлять собой лучшее значение состояния природы (β_j).

«Риском r_{ij} игрока А при выборе им стратегии A_i в условиях состояния природы Π_j называется разность между показателем благоприятности β_j состояния природы Π_j и выигрышем a_{ij} , т.е. разность между выигрышем, который игрок А получил бы, если бы знал заранее, что природа примет состояние Π_j , и выигрышем, который он получит при этом же состоянии Π_j , выбрав стратегию A_i » [10]:

$$r_{ij} = \beta_j - a_{ij}. \quad (3)$$

Модель матрицы рисков для принятия решений в условиях риска имеет вид:

$$R = \|r_{ij}\| = \begin{bmatrix} & \Pi_1 & \Pi_2 & \Pi_j & \Pi_n \\ A_1 & r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ A_2 & r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ A_i & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_m & r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где элемент матрицы r_{ij} – ожидаемые потери игрока А при реализации им стратегии A_i ($i = \overline{1, m}$) и состоянии природы Π_j ($j = \overline{1, n}$).

Результаты, полученные после расчета прибыли, которую ожидает получить производитель с учетом выбранной стратегии, пред-

$$B = \max_i \left\{ \sum_{j=1}^n q_j a_{ij} \right\} \quad (7)$$

• **Критерий Байеса относительно выигрышей**

Позволяет выбрать максимальное значение из ожидаемых элементов матрицы доходности при известной вероятности возможных состояний природы

$$B^r = \min_i \left\{ \sum_{j=1}^n q_j r_{ij} \right\} \quad (8)$$

• **Критерий Байеса относительно рисков**

Позволяет выбрать минимальное значение из средних рисков при известной вероятности возможных состояний природы

$$L = \max_i \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} \right), i = 1, 2 \dots m \quad (9)$$

• **Критерий Лапласа относительно выигрышей**

Предполагает выбор стратегии с максимальной ожидаемой доходностью при равной вероятности наступления возможных состояний природы

$$L = \min_i \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_{ij} \right), i = 1, 2 \dots m \quad (10)$$

• **Критерий Лапласа относительно рисков**

Предполагает выбор варианта стратегии с минимальным риском при равной вероятности наступления возможных состояний природы

$$G = \max_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} a_{ij} q_j \quad (11)$$

• **Критерий Гермейера относительно выигрышей**

Игрок А считает природу своим противником, при этом полностью доверяя вектору вероятностей состояний природы и обеспечивая себе выигрыш с минимальной удовлетворенностью независимо от состояний природы, но с учетом их вероятностей

$$G^r = \min_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} r_{ij} q_j \quad (12)$$

• **Критерий Гермейера относительно рисков**

Ценой игры в чистых стратегиях является минимальное значение среди показателей неэффективности чистой стратегии A_i , т.е. игрок А заинтересован в выборе чистой стратегии с наименьшим показателем

Рис. Критерии выбора

ставляются в виде матрицы доходности F . Например, если производитель выберет стратегию A_1 (проведет комплексную обработку растений), то, в зависимости от состояния природы, его прибыль составит при неблагоприятных условиях природы (стратегия Π_1):

$$250 \text{ ц/га} \times 150 \text{ га} \times 800 \text{ руб./ц} - 800 \text{ 000 руб.} = 29 \text{ 200 000 руб.}$$

Аналогично рассчитаем все оставшиеся стратегии для каждого состояния природы и благоприятность (β_j) и представим данные в виде матрицы доходности (5).

$$F = \begin{bmatrix} 29 \text{ 200} & 27 \text{ 400} & 24 \text{ 400} \\ 29 \text{ 600} & 26 \text{ 000} & 13 \text{ 400} \\ 27 \text{ 350} & 17 \text{ 750} & 8 \text{ 870} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Каждый элемент платежной матрицы a_{ij} – это выигрыш игрока A при стратегии A_i в состоянии природы Π_j .

Рассчитаем матрицу рисков (6). Ожидаемые потери игрока A при реализации им стратегии A_i ($i = \overline{1, m}$) и состоянии природы Π_j ($j = \overline{1, n}$) составят:

$$R = \begin{bmatrix} 400 & 0 & 0 \\ 0 & 1 \text{ 400} & 11 \text{ 000} \\ 2 \text{ 250} & 96 \text{ 500} & 15 \text{ 530} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Для принятия решения в соответствии с реальными условиями предназначены критерии выбора стратегии Байеса, Лапласа, Гермейера, описание которых представлено на рисунке [4; 11].

1. Критерий Байеса. «Игрок рассчитывает, что природа пойдет по наилучшему для него пути, и следует выбрать вариант с максимальной прибылью при самом плохом исходе, поэтому данный критерий считается пессимистическим» [9].

Применив критерий Байеса, определим оптимальную стратегию относительно выигрышей и относительно рисков при вероятностях состояний природы $q_1 = 0,2$; $q_2 = 0,5$; $q_3 = 0,3$. Применив формулу (7) вычислим средние выигрыши по каждой стратегии, представленные в табл. 2. Получено, что оптимальной стратегией относительно выигрышей является стратегия A_1 .

Применив формулу (8) определим по каждой стратегии критерий Байеса относительно рисков (табл. 3). Получено, что оптимальной стратегией относительно рисков является стратегия A_1 .

2. Критерий Лапласа. «Вероятности состояния природы в критериях Байеса были определены путем вычисления вероятности на основе статистических данных и собственного опыта игрока A . Однако на практике не всегда удается определить вероятности таким способом. Для принятия решения в условиях риска игроку A необходимо оценивать вероятности субъективно – вероятности состояния природы (q_i) оцениваются как равнозначные и игрок A не может предпочесть одно из состояний природы. Такой принцип называется принципом недостаточного основания Лапласа» [11]. В соответствии с этим принципом каждому состоянию Π_j ставится вероятность q_i , определяемая по формуле:

$$q_i = \frac{1}{n}, \text{ таким образом, } \sum q_i = 1. \quad (13)$$

Для определения оптимальной стратегии относительно выигрышей при равных вероятностях состояний природы и относительно рисков по критерию Лапласа применим формулу (9). Полученные средние выигрыши по каждой стратегии относительно выигрышей представлены в табл. 4. Получено, что оптимальной стратегией относительно выигрышей является стратегия A_1 .

Применяя формулу (10), определим средние выигрыши по каждой стратегии относительно рисков (табл. 5). Получено, что оптимальной стратегией относительно рисков является стратегия A_1 .

3. Критерий Гермейера позволяет определить эффективность чистых стратегий. «Если игрок A выбирает чистую стратегию A_i , то он получит выигрыш (a_{ij}), если природа окажется в состоянии Π_j . Однако природа может быть в этом состоянии с вероятностью $q_j = p(\Pi_j)$. Следовательно, игрок A получит свой выигрыш (a_{ij}) только с вероятностью q_j . В связи с этим рассматривается так называемый элемент Гермейера этого выигрыша – ($a_{ij}q_j$)» [12].

Критерий Гермейера относительно выигрыша представляет собой матрицу, состоящую из элементов Гермейера (табл. 6). Получено, что оптимальной стратегией относительно выигрышей является стратегия A_1 .

По критерию Гермейера матрица рисков формируется аналогично матрице выигрышей по этому же критерию, но на вероятность

состояния природы умножается элемент матрицы рисков R . Получено, что оптимальной стратегией относительно рисков является также стратегия A_1 (табл. 7).

Таким образом, результаты исследования по трем критериям (табл. 8) показали, что предприятию следует придерживаться стратегии A_1 .

Таблица 2

Критерий Байеса относительно выигрышей

Стратегии фермера	Развитие сорняков, болезней и вредителей			Критерий Байеса относительно выигрышей
	P_1	P_2	P_3	
A_1	29 200	27 400	24 400	26 860
A_2	29 600	26 000	13 400	22 940
A_3	27 350	17 750	8870	17 006

Таблица 3

Критерий Байеса относительно рисков

Стратегии фермера	Развитие сорняков, болезней и вредителей			Критерий Байеса относительно рисков
	P_1	P_2	P_3	
A_1	400	0	0	80
A_2	0	1400	11 000	4000
A_3	2250	9650	15 530	9934

Таблица 4

Критерий Лапласа относительно выигрышей

Стратегии фермера	Развитие сорняков, болезней и вредителей			Средние выигрыши по каждой стратегии
	P_1	P_2	P_3	
A_1	29 200	27 400	24 400	27 000
A_2	29 600	26 000	13 400	23 000
A_3	27 350	17 750	8870	17 990

Таблица 5

Критерий Лапласа относительно рисков

Стратегии фермера	Развитие сорняков, болезней и вредителей			Средние выигрыши по каждой стратегии
	P_1	P_2	P_3	
A_1	400	0	0	133
A_2	0	1400	11 000	4133
A_3	2250	9650	15 530	9143

Таблица 6

Критерий Гермейера относительно выигрыша

Стратегии фермера	Развитие сорняков, болезней и вредителей			Развитие сорняков, болезней и вредителей по Гермейеру			Минимальный выигрыш фермера
	P_1	P_2	P_3	P_1	P_2	P_3	
A_1	$29200 \times 0,2$	$27400 \times 0,5$	$24400 \times 0,3$	5840	13 700	7320	5840
A_2	$29600 \times 0,2$	$26000 \times 0,5$	$13400 \times 0,3$	5920	13 000	4020	4020
A_3	$27350 \times 0,2$	$17750 \times 0,5$	$8870 \times 0,3$	5470	8875	2661	2661
p_i	$p_1=0,2$	$p_2=0,5$	$p_3=0,3$	-	-	-	-

Таблица 7

Критерий Гермейера относительно риска

Стратегии фермера	Развитие сорняков, болезней и вредителей			Развитие сорняков, болезней и вредителей по Гермейеру			Показатели неэффективности
	П ₁	П ₂	П ₃	П ₁	П ₂	П ₃	
A ₁	400×0,2	0×0,5	0×0,3	80	0	0	80
A ₂	0×0,2	1400×0,5	11000×0,3	0	700	3300	3300
A ₃	2250×0,2	96500×0,5	15530×0,3	450	4825	4659	4825
p _i	p ₁ =0,2	p ₂ =0,5	p ₃ =0,3	-	-	-	-

Таблица 8

Сравнительный анализ результатов применяемых стратегий

Стратегии	Критерии выбора					
	Критерий Байеса		Критерий Лапласа		Критерий Гермейера	
	относительно выигрышей	относительно рисков	относительно выигрышей	относительно рисков	относительно выигрышей	относительно рисков
A ₁	26 860	80	27 000	133	5840	80
A ₂	22 940	4000	23 000	4133	4020	3300
A ₃	17 006	9934	17 990	9143	2661	4825

Обсуждение

Наилучшим решением для предприятия будет провести комплексную обработку растений для предотвращения повреждения сорняками, вредителями и болезнями, потратив на эти цели 800 тыс. руб. (стратегия A₁). При этом, согласно критерию Байеса, даже при худших состояниях природы, максимальный доход из всех минимально возможных составит 26 860 тыс. руб., а ожидаемые потери будут минимальные из всех максимально возможных и могут достигать до 80 тыс. руб. По критерию Лапласа, при равной вероятности наступления каждого состояния природы, стратегия A₁ может дать максимальный из минимально возможных доходов в размере 27 000 тыс. руб., а по критерию Гермейера – 5840 тыс. руб. Возможные минимальные потери из всех максимально возможных при стратегии A₁ по критерию Лапласа могут достигать до 133 тыс. руб., а по критерию Гермейера – до 80 тыс. руб.

Применение игровых методов при принятии решений позволяет заблаговременно идентифицировать риски, оценить вероятность их возникновения и возможные последствия. Своевременное управленческое решение должно быть направлено на снижение потерь и опасных последствий, повышение эффектив-

ности производства, удержание конкурентоспособного положения.

Так, если не обрабатывать растения и потратить 250 тыс. руб. на производственные процессы (стратегия A₃), при неблагоприятных условиях (П₁) максимальные потери могут достигать до 9934 тыс. руб., а при равных вероятностях наступления всех возможных состояний природы (П₂) – до 9143 тыс. руб., и даже при благоприятных погодных условиях (П₃) эта стратегия приведет к потерям до 4825 тыс. руб.

Однако необходимо иметь в виду, что используемые в данном исследовании методы оценки рисков на основе элементов математической теории игр не гарантируют филигранную точность результатов [13]. Но во многих ситуациях такая точность и не требуется. В ряде случаев для принятия решения в условиях неопределенности необходимо лишь упорядочить представления о возможных угрозах [14].

В данной связи использование представленных методов оценки рисков может быть применено в реальной деятельности, а полученные результаты позволят сформировать предварительный алгоритм принятия решения с наилучшим стратегическим потенциалом. Кроме того, использование современных при-

кладных инструментов на платформе информационных технологий позволит автоматизировать такие исследования и повысить эффективность принимаемых решений.

Заключение

В результате проведенного исследования получено, что при использовании критериев Байеса, Лапласа, Гермейера предприятию необходимо выбирать стратегию A_1 . Это лишь частный случай, когда все критерии привели к выбору одной и той же стратегии. В реальных условиях исходные данные могут существенно отличаться от представленных, а результаты вычислительных экспериментов приводят к выбору разных стратегий. Следовательно, необходимо проводить и опытные эксперименты в полях с учетом рекомендуемых стратегий, а затем проводить сравнительный анализ расчетных и полученных результатов.

Таким образом, в проведенном исследовании подробно описана методика оценки выигрышей и рисков применения стратегии на примере обобщенных данных сельскохозяйственного предприятия. Применяемые критерии являются классическими и не вызывают проблем при использовании. В связи с этим дальнейшее исследование необходимо посвятить автоматизации расчетов с целью увеличения количества исследуемых вариантов допустимых стратегий на основе разнообразных исходных данных. Создание собственной базы данных возможных стратегий позволит сельскохозяйственному предприятию провести в дальнейшем анализ различных исходов и выбрать наиболее подходящие решения для практического применения. В перспективе целесообразно систематизировать полученные данные, а также провести сравнительный анализ прогнозных и фактических результатов.

Список источников

1. Соколинская Н.Э. Развитие новых технологий прогнозирования и моделирования по оценке кредитных рисков в условиях цифровой экономики // *Инновации и инвестиции*. 2020. № 1. С. 174–177.
2. Цыбатов В.А. Цифровые технологии прогнозирования и стратегического планирования регионального развития: теория и практика // *Вестник Самарского государственного экономического университета*. 2023. № 6 (224). С. 69–83.
3. Звягин Л.С. Системы поддержки принятия решений и использование теории игр в экономике современного предприятия. Научные исследования и разработки // *Экономика фирмы*. 2020. № 9 (1). С. 10–19.
4. Дебердиева Е.М., Фролова С.В. Применение теории игр при расчете экономической эффективности интеграции промышленных предприятий // *Московский экономический журнал*. 2021. № 9. С. 52–54.
5. Анализ современного состояния научных исследований в области процессов моделирования / Л.О. Левченко, И.Г. Кузнецова, А.С. Шарапова, А.С. Федотов, В.А. Качаева // *Инновации и инвестиции*. 2020. № 8. С. 151–153.
6. Сигал А.В., Кусый М.Ю. Проблемы принятия корректных управленческих решений, основанных на применении теории игр и статистических решений в экономике // *Теория и практика общественного развития*. 2020. № 6 (148). С. 34–38.
7. Ходова Л.Д. Матричная лаборатория MATLAB – инструментарий для проведения расчетов математических моделей сложных электрических цепей синусоидального тока // *Перспективы развития АПК в современных условиях : материалы V Междунар. науч.-практ. конф.*, 15–17 апр. 2015 г. Владикавказ, 2015. С. 217–223.
8. Кудзаева Д.К., Датиева М.Ч. Система управления предприятием, ее составляющие и задачи управленческой науки // *Вестник научных трудов молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет»*. 2018. С. 87–90.
9. Лабскер Л.Г. Теория критериев оптимальности и экономические решения. Москва : КноРус, 2017. 505 с.
10. Султанов И.А. Матрицы рисков в теории игр. URL: <http://projectimo.ru/upravlenie-riskami/matrica-riskov.html> (дата обращения: 05.11.2023).

11. Цогоева А.Р., Вазиева Л.Т. Специфика экономико-математического моделирования землеустройства в условиях горных территорий РСО-Алания // Устойчивое развитие горных территорий. 2016. № 8 (1). С. 59–64.
12. Каракетова Л.Т. Взаимоотношения производителей и потребителей на рынке товаров // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2022. № 12 (7-1). С. 7–13.
13. Каменецкий Е.С., Волик М.В., Тагиров А.М. Математическое моделирование распространения загрязняющих веществ, выбрасываемых автотранспортом // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2014. № 6 (62). С. 23–31.
14. Зотиков Н.З. Малое предпринимательство: проблемы развития // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2023. № 3 (221). С. 9–20.

References

1. Sokolinskaya N.E. Development of new forecasting and modeling technologies for assessing credit risks in the digital economy // Innovations and investments. 2020. No. 1. Pp. 174–177.
2. Tsybatov V.A. Digital technologies for forecasting and strategic planning of regional development: theory and practice // Vestnik of Samara State University of Economics. 2023. No. 6 (224). Pp. 69–83.
3. Zvyagin L.S. Decision support systems and the use of game theory in modern enterprise economics. Scientific research and development // Firm economics. 2020. No. 9 (1). Pp. 10–19.
4. Deberdieva E.M., Frolova S.V. Application of game theory in calculating the economic efficiency of the integration of industrial enterprises // Moscow Economic Journal. 2021. No. 9. Pp. 52–54.
5. Analysis of the current state of scientific research in the field of modeling processes / L.O. Levchenko, I.G. Kuznetsova, A.S. Sharapkova, A.S. Fedotov, V.A. Kachaeva // Innovations and investments. 2020. No. 8. Pp. 151–153.
6. Sigal A.V., Kussy M.Yu. Problems of making correct management decisions based on the application of game theory and statistical decisions in economics // Theory and practice of social development. 2020. No. 6 (148). Pp. 34–38.
7. Khodova L.D. Matrix laboratory MATLAB is a toolkit for calculating mathematical models of complex electrical circuits of sinusoidal current // Prospects for the development of the agro-industrial complex in modern conditions : materials of the V International scientific and practical conference, Apr. 15-17, 2015. Vladikavkaz, 2015. Pp. 217–223.
8. Kudzaeva D.K., Datieva M.Ch. Enterprise management system, its components and tasks of management science // Bulletin of scientific works of young scientists, graduate students, undergraduates and students of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Mountain State Agrarian University». 2018. Pp. 87–90.
9. Labsker L.G. Theory of optimality criteria and economic decisions. Moscow : KnoRus, 2017. 505 p.
10. Sultanov I. A. Risk matrices in game theory. URL: <http://projectimo.ru/upravlenie-riskami/matrica-riskov.html> (date of access: 05.11.2023).
11. Tsogoeva A.R., Vazieva L.T. Specifics of economic and mathematical modeling of land management in the conditions of mountainous territories of North Ossetia-Alania // Sustainable development of mountainous territories. 2016. No. 8 (1). Pp. 59–64.
12. Karaketova L.T. Relationships between producers and consumers in the goods market // Economics: yesterday, today, tomorrow. 2022. No. 12 (7-1). Pp. 7–13.
13. Kamenetsky E.S., Volik M.V., Tagirov A.M. Mathematical modeling of the distribution of pollutants emitted by motor vehicles // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2014. No. 6 (62). Pp. 23–31.
14. Zotikov N.Z. Small business: development problems // Vestnik of Samara State University of Economics. 2023. No. 3 (221). Pp. 9–20.

Информация об авторах

А.Ю. Цогоев – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий Горского государственного аграрного университета;

А.Р. Цогоева – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий Горского государственного аграрного университета, доцент кафедры «Математика и информатика» Владикавказского филиала Финансового университета при Правительстве Российской Федерации;

М.Ч. Датиева – кандидат экономических наук, доцент, зав. кафедрой информационных технологий Горского государственного аграрного университета;

М.В. Волик – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Математика и информатика» Владикавказского филиала Финансового университета при Правительстве Российской Федерации.

Information about the authors

A.Yu. Tsogoev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technology of the Gorsky State Agrarian University;

A.R. Tsogoeva – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technology of the Gorsky State Agrarian University, Associate Professor of the Department of Mathematics and Computer Science of the Vladikavkaz Branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation;

M.Ch. Datieva – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Information Technology of the Gorsky State Agrarian University;

M.V. Volik – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics and Computer Science of the Vladikavkaz Branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 13.02.2024; одобрена после рецензирования 05.03.2024; принята к публикации 20.03.2024.

The article was submitted 13.02.2024; approved after reviewing 05.03.2024; accepted for publication 20.03.2024.